

Prądnik. Prace Muz. Szafera	19	195–218	2009
-----------------------------	----	---------	------

ZBIGNIEW CAPUTA

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Klimatologii  
ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec

**KONTRASTY MEZO- I MIKROKLIMATYCZNE  
W OJCOWSKIM PARKU NARODOWYM**

**Meso- and microclimatic contrasts in the Ojców National Park**

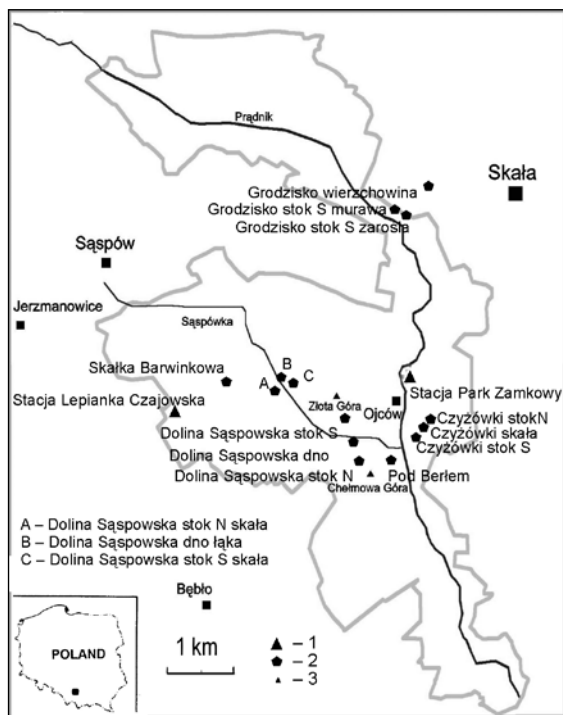
**ABSTRACT.** Based on the measurements (2007–2009) made by two base stations: 1) Lepianka Czajowska in the plateau of the Kraków Upland; 2) Park Zamkowy in the Prądnik Valley (temperature, humidity, wind speed and direction, precipitation, and net radiation) and 15 Hobo microrecorders, meso- and microclimatic variation in the ONP was presented. The values of climatic contrasts between karstic canyons and the plateau, between southern and northern slopes, and in relation to the plant cover including forest were determined.

**KEY WORDS:** mesoclimate, microclimate, topoclimate, temperature inversion, climate of karstic canyon, Ojców National Park, Kraków-Częstochowa Upland

WSTĘP

Jednym z czynników decydujących o rozmieszczeniu gatunków roślin na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego (OPN) są zróżnicowane warunki mikroklimatyczne (Michalik 1983). Z kolei zróżnicowanie mikroklimatu związane jest ściśle z rzeźbą terenu (Klein 1967, 1974, 1977). Prowadzone badania potwierdzały ilościowe wartości kontrastów klimatycznych i wskazywały miejsca ich występowania (Klein i in. 1965, Brzeźniak, Partyka 2008, Wojkowski 2004). Dlatego pomiary terenowe zostały przeprowadzone w reprezentatywnych miejscach OPN. Pozwoliło to określić wartości kontrastów klimatycznych między kanionami krasowymi a wierzchowiną, pomiędzy zboczem południowym a północnym oraz ze względu na pokrycie roślinnością w tym lasem w obrębie Wyżyny Krakowskiej.

Celem opracowania było określenie kontrastów klimatycznych charakterystycznych powierzchni OPN. Przedstawiono zróżnicowanie w dopływie promieniowania słonecznego i strukturze bilansu promieniowania na wierzchowinie i na dnie Doliny Prądnika. Następnie omówiono warunki mikroklimatyczne wieloletnich stanowisk badawczych Czyżówki, Grodzisko oraz powierzchni leśnych i nieleśnych Doliny Sąpowskiej. W osobnym rozdziale omówiono analizę występowania i intensywności przyziemnych inwersji termicznych. Artykuł kończy rozdział podsumowujący o zróżnicowaniu mezo-klimatycznym oraz charakterystyka regionów mezoklimatycznych OPN.



Ryc. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego. 1 – stacje Campbell; 2 – stacje Hobo; 3 – szczyty

Fig. 1. Location of measurement points in the Ojców National Park: 1 – Campbell stations; 2 – Hobo stations; 3 – hill-tops

## METODA BADAŃ

W pierwszej kolejności założono dwa stałe punkty pomiarowe, które reprezentowały dwie skrajne formy terenu: wierzchwinę oraz dno wąwozu krasowego. Następnie wyznaczono dodatkowe punkty pomiarowe w profilu poprzecznym Doliny Saspowskiej na dwóch przeciwległych ekspozycjach po dwa punkty w lesie i na skałach oraz na murawach kserotermicznych na wierzchwinie i południowym zboczu obok przysiółka Grodzisko (ryc. 1).

Na płaskim dnie Doliny Prądnika ustawiono stację Park Zamkowy (PZ) firmy Campbell (322 m n.p.m.) z czujnikiem Vaisala WXT50 do pomiarów temperatury, wilgotności względnej, kierunku i prędkości wiatru, ciśnienia atmosferycznego na wysokości 200 cm, dodatkowymi termometrami Pt100 na powierzchni murawy oraz 10 cm w gruncie, zasilanie zapewniał 15W panel słoneczny. Pomiarzy aktynometryczne realizował radiometr różnicowy CNR1 Kipp&Zonen na wysokości 150 cm. Czujnik ten pozwalał na pomiary składników bilansu promieniowania (promieniowanie całkowite i odbite oraz długofalowe atmosfery i powierzchni Ziemi) oraz salda w pełnym zakresie widma.

Wierzchwinowe partie OPN reprezentował stały punkt pomiarowy zlokalizowany w Lepiance Czajowskiej (LCz) na wysokości 483 m n.p.m. w odległości 3170 m na WSW od stacji Park Zamkowy. Teren wybrano nieosłonięty, o powierzchni lekko wypukłej, na łąkach porośniętych murawą regularnie koszoną. Różnica wysokości 161 m między obiema stacjami w przybliżeniu odpowiadała różnicom wysokości dla wielu wąwozów i wierzchwin OPN. Stacja została wyposażona w rejestrator firmy Campbell oraz taki sam zestaw czujników jak stacja PZ. W odległości

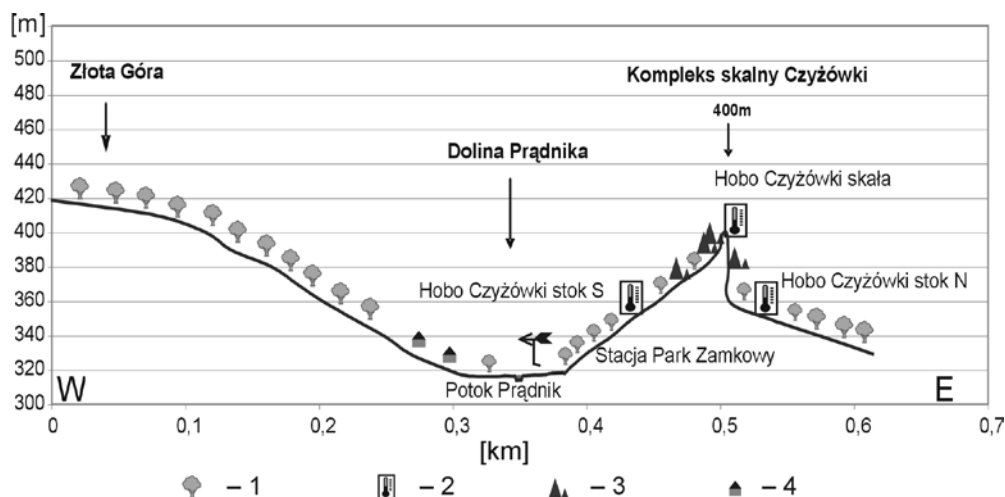
500 m od stacji LCz na Skałce Barwinkowej umieszczono rejestrator Hobo9 (1123715) – nazywany dalej SB.wierzchowina\_łás na wysokości 477 m n.p.m. Punkt pomiarowy reprezentował porośnięte lasem wierzchwinowe partie Wyżyny Krakowskiej.

W pozostałych punktach pomiarowych użyto mikrorejestratorów Hobo uprzednio umieszczonych obok siebie na kilka dni w celu przeprowadzenia kalibracji względnej. Odchylenia temperatury nie przekraczały 0,2°C, dlatego we wrześniu 2007 roku rozpoczęto pomiary w wybranych punktach OPN. Pomiary zapisywano co 10 min w czasie UTC i co kilka miesięcy pozyskiwano dane przy pomocy laptopa lub czytnika danych. Dane uporządkowano i stworzono bazę danych do opracowań klimatycznych oraz przystąpiono do opracowywania modelu charakterystyki gradientowej elementów meteorologicznych ze szczególnym zwróceniem uwagi na sytuacje inwersyjne i ich powiązanie z warunkami aerosanitarnymi. W analizie wykorzystano metody statystyki opisowej tj. wartości przeciętne, skrajne, wskaźniki dyspersji reprezentowane przez odchylenie standardowe i współczynniki zmienności, linie trendów oraz graficzne metody prezentacji. Poniżej szczegółowo opisano stanowiska pomiarowe wraz z charakterystyką morfologiczną i botaniczną.

#### **Stanowiska pomiarowe na kompleksie skalnym Czyżówki**

Trzy stanowiska pomiarowe zostały zlokalizowane na kompleksie skalnym Czyżówki położonym na wschodnim zboczu Doliny Prądnika w Ojcowie (ryc. 1, 2). Rejestratory Hobo ustawiono na trójnogu wraz z czujnikiem w osłonie antyradiacyjnej na wysokości 150 cm oraz drugi czujnik bez osłony w poszyciu, 10 cm nad powierzchnią gruntu. Pierwszy rejestrator Hobo1 (1123706) dalej nazywany Cz\_skala ustawiono na grzbiecie skalnym w otoczeniu kserotermicznych zarośli (*Peucedano cervariae-Coryletum*) na wysokości 380 m n.p.m. Grzbiet skalny wraz z bezpośrednim otoczeniem pokrywały lasy i zarośla. Jedyne na nielicznych, nie oświetlonych skałach występowały małe, izolowane powierzchnie roślinności murawowej. Drugi rejestrator Hobo2 (1123707) – nazywany dalej Cz\_stokS reprezentował warunki mikroklimatyczne zboczy o ekspozycji południowej i południowo-zachodniej porośniętych grądem (*Tilio-Carpinetum typicum*), zlokalizowany na wysokości 355 m n.p.m. Zbocza w jego sąsiedztwie odznaczały się dużym nachyleniem, wynoszącym przeciętnie około 25–30°. (Dokładną lokalizację oraz zdjęcie można znaleźć w opracowaniu J. Partyka i Z. Caputa w tym tomie). Na tej samej wysokości ale na przeciwległym zboczu północno-wschodnim o nieznacznie mniejszym nachyleniu 20–25° znajdował się rejestrator Hobo3 (1123708) dalej nazywany Cz\_stokN, który reprezentował warunki mikroklimatyczne oświetlonych północnych zboczy kompleksu skalnego Czyżówki porośniętych jaworzyną górską z dominującą miesiącznicą (*Lunario-Aceretum*), grądem typowym oraz wilgotnym (*Tilio-Carpinetum stachyetosum*).

Kompleks skalny Czyżówki rozciąga się od dna Doliny Prądnika (316 m n.p.m.) do wysokości 388 m n.p.m. Obejmuje duży, silnie zróżnicowany pod względem morfologicznym, grzbiet skalny opadający od SE w kierunku NW (Klein, Partyka 1991). Od strony północno-wschodniej grzbiet tworzy stromą, miejscami pionową, ścianę skalną dochodzącą lokalnie do wysokości 40 m. Ku południowemu zachodowi grzbiet opada łagodnie tworząc kilkumetrowe progi i uskoki skalne. W górnej części grzbietu odchodzi od niego boczne odgałęzienie w postaci wąskiej grzędy skalnej z licznymi turniczkami i ściankami skalnymi, opadające w kierunku zachodnim. Podnóże ściany skalnej od strony północno-zachodniej zasłane jest rumowiskiem głazów wapiennych osiagających niekiedy bardzo duże rozmiary (Michalik 2003).



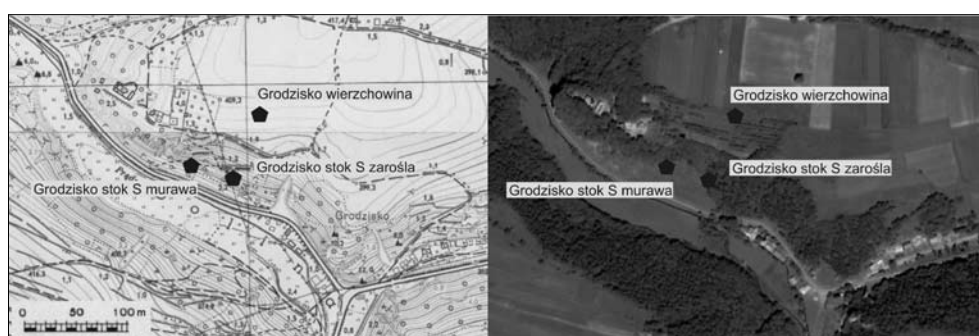
Ryc. 2. Profil hipsometryczny Doliny Prądnika i kompleksu skalnego Czyżówki. 1 – las i zadrzewienie śródpolne; 2 – miejsca pomiarów automatycznych przez mikrorejestratory Hobo; 3 – luźna zabudowa; 4 – skały

Fig. 2. Hypsometric profile of the Prądnik Valley and the rock complex of Czyżówki: 1 - forest and tree-covered areas among fields; 2 - places of automatic measurements taken by Hobo microrecorders; 3 - scattered development; 4 - rocks

#### Stanowiska pomiarowe na Grodzisku

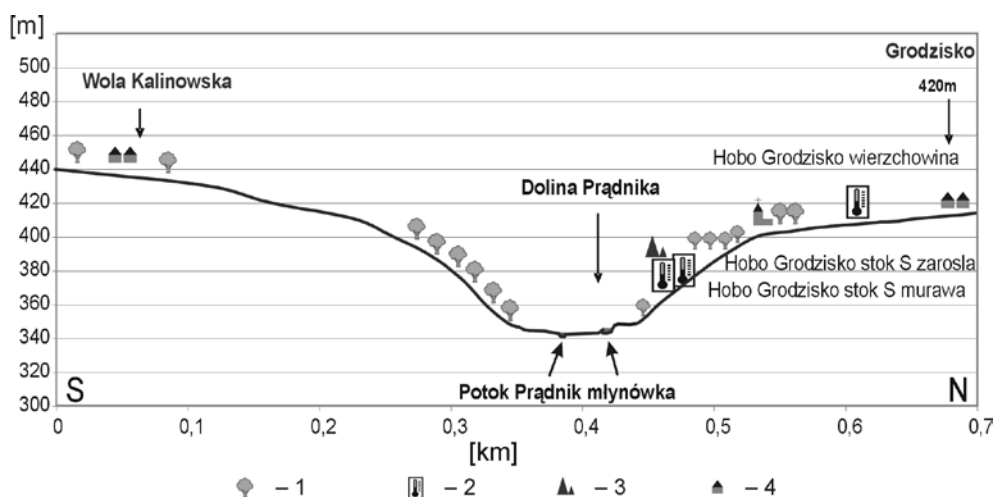
Trzy rejestratory ustawiono na południowym zboczu Doliny Prądnika (342 m). Charakteryzowało się ono dużym udziałem roślinności kserotermicznej, murawowej i zaroślowej. Czujniki Hobo rejestrowały temperaturę powietrza na wysokości 150 cm w osłonie antyradiacyjnej oraz na murawie 10 cm nad powierzchnią gruntu. Stanowiska te zlokalizowano na zboczu Doliny Prądnika, w przysiółku Grodzisko, leżącym w granicach miasta Skała (ryc. 1, 3). Był to silnie nasłoneczniony odcinek zbocza, o wystawie południowej, długości około 300 m. W zachodniej oraz wschodniej części występowały rozległe kompleksy skalne, rozczłonkowane na grupy i pojedyncze skały. W bezpośrednim sąsiedztwie tych skał, na murawie kserotermicznej, silnie eksponowanej na zboczu 35–40° ustawiono rejestrator Hobo7 (1123712) – nazywany dalej G.stokS\_murawa na wysokości 370 m n.p.m. W latach 60. ubiegłego wieku obszary te porośnięte były grądem (*Tilio-Carpinetum*). W latach 80. zbiorowiska leśne rozprzestrzeniły się na prawie całym terenie Grodziska, zajmując obszar 3,64 ha w 1986 roku. Po zastosowaniu zabiegów ochrony czynnej, nastąpiło zmniejszenie powierzchni leśnej do ok. 2,9 ha w 2005 roku. W tym samym czasie dokładnie odwrotne proporcje udziału powierzchniowego miała najczęściej występująca tu murawa kserotermiczna, reprezentująca zespół *Origano-Brachypodietum*. W środkowej części terenu, pozbawionej wychodni skalnych, nachylonej pod kątem około 35°, wśród zarośli tarniny i ligustru (*Pruno-Ligustretum*) ustawiono Hobo8 (1123713) – nazywany dalej G.stokS\_zaroslą na wysokości 375 m n.p.m. Na wierzchołku, na niekoszonej łące świeżej (*Arrhenatheretum-elatioris*), która wskutek zaniechania koszenia podlegała analogicznym procesom sukcesyjnym jak wcześniej *Origano-Brachypodietum*, ustawiono rejestrator Hobo10 (1123716) – nazywany dalej G.wierzchowina na wysokości 410 m n.p.m. (ryc. 3, 4).

Teren badań pokrywały gleby o charakterze rędzin nawapiennych, o głębokości profilu od 10 do 50 cm. Według J. Kleina (1974) prawie cała powierzchnia to najcieplejszy region mezo- i mikroklimatyczny, odznaczający się najwyższymi wartościami nasłonecznienia (do 135%) oraz bardzo dużymi kontrastami termicznymi. Uwarunkowania mikroklimatyczne oraz glebowe, stwarzały korzystne warunki dla rozwoju roślinności kserotermicznej. Dlatego też obszar „Grodziska” w *Operacie Ochrony Zbiorowisk Nieleśnych Ojcowskiego Parku Narodowego* został zaliczony do kategorii A – obejmującej najcenniejsze ostoje, wybitnie bogate w gatunki kserotermiczne (Michalik 1996). Po-



Ryc. 3. Lokalizacja stacji pomiarowych na Grodzisku

Fig. 3. Location of measurement stations on the Grodzisko



Ryc. 4. Profil hipsometryczny Doliny Prądnika i Grodziska. 1 – las i zadrzewienie śródpolne; 2 – miejsca pomiarów automatycznych przez mikrorejstratory Hobo; 3 – luźna zabudowa; 4 – skały

Fig. 4. Hypsometric profile of the Prądnik Valley and the Grodzisko: 1 – forest and tree-covered areas among fields; 2 – places of automatic measurements taken by Hobo microrecorders; 3 – scattered development; 4 – rocks

wierzchnia badawcza „Grodzisko” cechowała się dużym zróżnicowaniem roślinności. Wyróżniono tu aż 11 zbiorowisk roślinnych (Michalik 1990; Sołtys, Barabasz-Krasny 2006). Na badanym terenie murawy regularnie koszone, odrosty drzew i krzewów usuwano, a pozyskaną biomasę wywożono od 2003 roku (Partyka 2005).

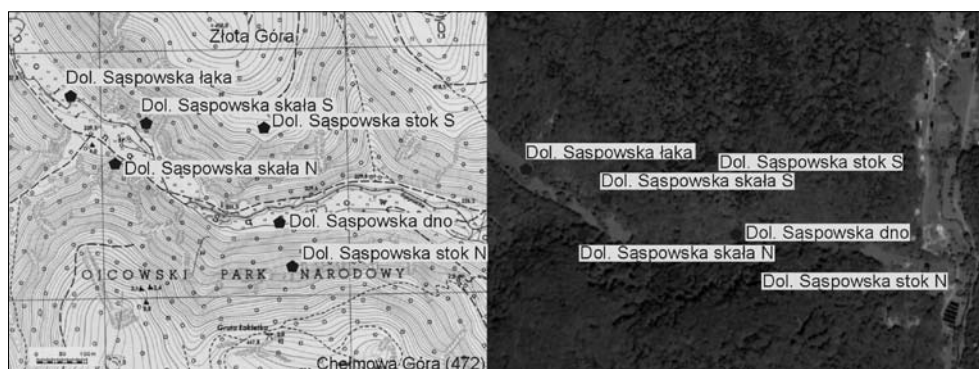
#### Stanowiska pomiarowe w Dolinie Sąspowskiej

Dolina Sąspowska o przebiegu W–E i długości 5 km, jest drugą co do długości doliną na terenie OPN (ryc. 1, 5). W Dolinie Sąspowskiej zlokalizowano sześć mikrorejestratorów Hobo do pomiarów temperatury powietrza, trzy w profilu poprzecznym w sąsiedztwie Skał Lisich oraz trzy u wylotu Wąwozu Jamki obejmując dno oraz dwa zbocza o ekspozycji S i N. Reprezentowały one powierzchnię o zróżnicowanych zbiorowiskach roślinnych: leśnych oraz nieleśnych w tym murawy naskalne i łąki (ryc. 5, 6). Czujniki umieszczono na trójnogach, na wysokości 150 cm termometr w osłonie antyradiacyjnej oraz bez osłony, w poszyciu, 10 cm nad powierzchnią gruntu. Dwa rejestratory umieszczono na południowym stoku: Hobo4 (1123709) – nazywany dalej DolS.stokS\_las na wysokości 410 m, reprezentowały naturalną roślinność lasu grądowego *Tilio-Carpinetum*, Hobo13 (2024680) – nazywany dalej DolS.stokS\_skala na wysokości 365m, na skale porośniętej murawą naskalną (*Festucetum pallentis*).

Kolejne dwa rejestratory umieszczono na północnym stoku: Hobo5 (1123710) – nazywany dalej DolS.stokN\_las na wysokości 390 m oraz Hobo11 (2024681) – nazywany dalej DolS.stokN\_skala na wysokości 365 m. Obydwa punkty reprezentowały powierzchnię żywej buczyny (*Dentario glandulosae-Fagetum*) z tym, że DolS.stokN\_skala ustawiony został na skale wapiennej porośniętej mchem. Taki rozkład powierzchniowy tego zbiorowiska istniał tu jeszcze przed utworzeniem OPN. Później obserwowali go A. Medwecka-Kornaś i J. Kornaś (1963) pod koniec lat 50. i S. Michalik (1991) w latach 90. Drzewostan tworzyły *Fagus sylvatica*, któremu w domieszce towarzyszyły: *Abies alba*, *Picea abies*, *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior* oraz sporadycznie *Tilia platyphyllos*.

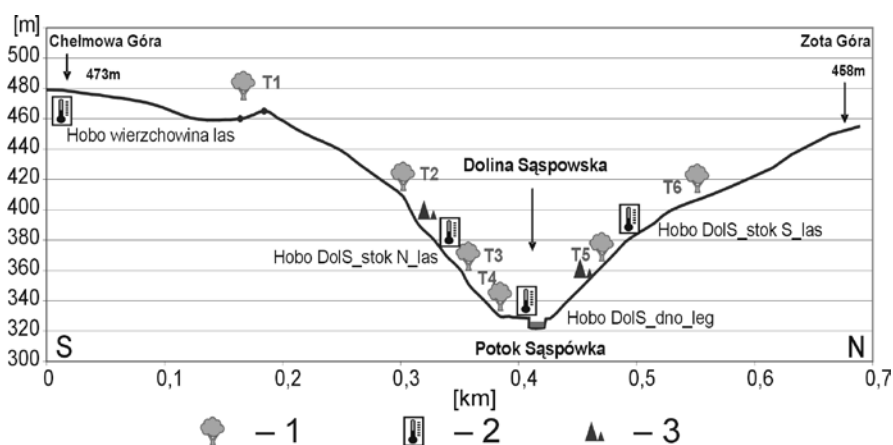
Dwa punkty pomiarowe reprezentowały dno Doliny Sąspowskiej. Hobo6 (1123711) – nazywany dalej DolS.dno\_leg na wysokości 330 m rejestrował w dolnej części Doliny Sąspowskiej porośniętej głównie przez zbiorowiska leśne. Pod koniec lat 50. i na początku 60. na badanym obszarze dominowały naturalne, leśne zbiorowiska z nielicznymi płatami półnaturalnych zbiorowisk kośnych łąk rajgrasowych. Później łąka świeża *Arrhenatheretum elatioris* wskutek zaniechania koszenia i wypasu zaczęła podlegać procesom sukcesyjnym przekształcając się w zarośla z ostrożeniem warzywnym i pokrzywą (*Cirsium oleraceum-Urtica dioica*). W czasie badań na miejscu tych zarośli rozwijało się zbiorowisko leśne zaliczone do lasów grądowych *Tilio-Carpinetum* (A. Sołtys-Lelek w tym tomie). Drugi punkt pomiarowy znajdował się w środkowej części wąwozu – Hobo12 (2024678) – nazywany dalej DolS.dno\_łąka na wysokości 337 m, zlokalizowany na łące rajgrasowej (*Arrhenatheretum elatioris*).

Układ powierzchni badawczej obejmującej zbocza S i N, pozwalał na prześledzenie wyraźnych zależności pomiędzy rozmieszczeniem naturalnych zbiorowisk a warunkami mikroklimatycznymi. Zbocza były silnie zróżnicowane mikroklimatycznie z powodu nie tylko ich ekspozycji ale dodatkowo spotęgowane jeszcze przez inwersję termiczną i zaleganie mgieł w wąskim dnie (Klein 1974). Dno wąwozu charakteryzowało się niskimi wartościami nasłonecznienia ok. 20%, niskimi maksimumami termicznymi ok. 25°C, małą amplitudą dobową temperatury ok. 7–10°C oraz wysoką wilgotnością. Podobne warunki panowały na wilgotnych i ocienionych zboczach o ekspozycji N (Klein 1974).



Ryc. 5. Lokalizacja stacji pomiarowych w Dolinie Saspowskiej

Fig. 5. Location of measurement stations in the Saspowska Valley

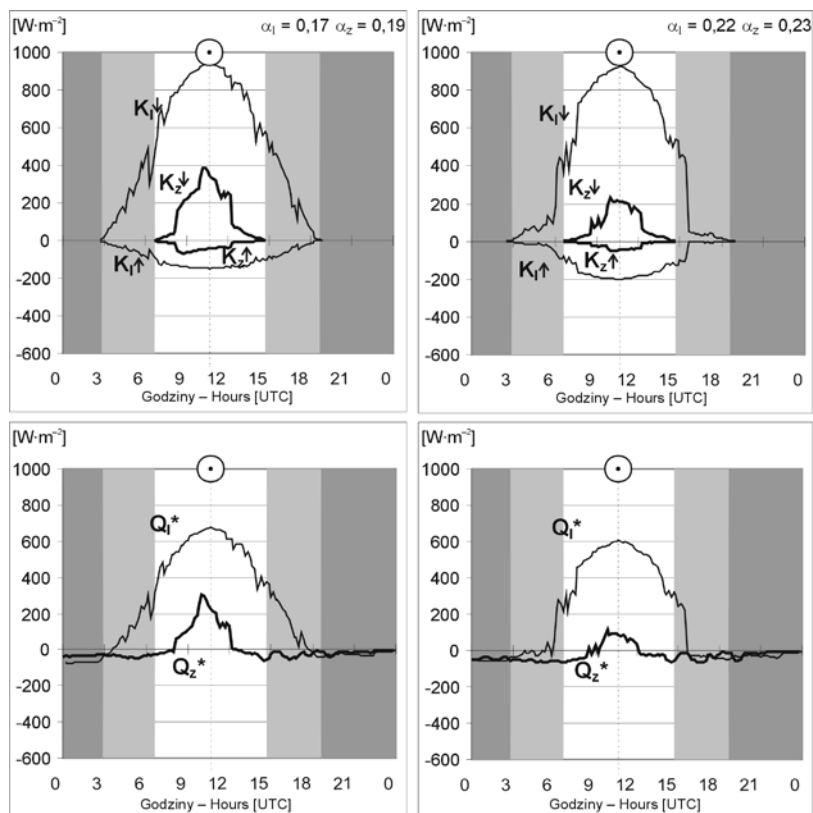


Ryc. 6. Profil hipsometryczny Doliny Saspowskiej. Zaznaczono miejsca odwiertów w drzewach przez M. Opałę i Z. Caputę (zob. artykuł w tym tomie). 1 – miejsca dendrochronologicznych prób (T1 i T6); 2 – miejsca pomiarów automatycznych przez mikrorejestratory Hobo; 3 – skałki

Fig. 6. Hypsometric profile of the Saspowska Valley with marked places of observation bore-holes in trees made by M. Opała and Z. Caputa (vide article in this volume): 1 – places of dendrochronological tests (T1 and T6); 2 – places of automatic measurements taken by Hobo microrecorders; 3 – rocks

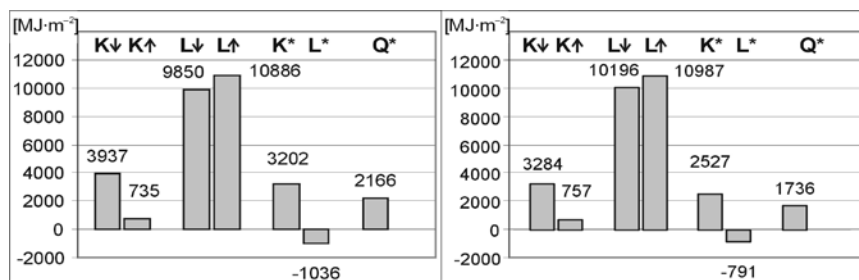
## WYNIKI BADAŃ

Silne urzeźbienie terenu, urozmaicenie form, ekspozycji i spadków powodowały duże różnice w dostawie energii słonecznej. Zróżnicowanie to wpływało na przebieg strumieni promieniowania w charakterystycznych formach OPN – wierzchowiny i dna wąwozu krasowego (ryc. 7). Nieosłonięta powierzchnia wierzchowiny otrzymała 15% więcej energii w postaci promieniowania całkowitego ( $K\downarrow$ ) niż dno wąwozu krasowego podczas pogodnego dnia 14.06.2009 r. Obserwowano również mniejsze saldo w pełnym zakresie widma ( $Q^*$ ) na stacji PZ (mniejsze o 24% niż na LCz). Jeszcze większe różnice stwierdzono w czasie pogodnego zimowego dnia 14.12.2008 r. Do wąskiego kanionu krasowego docierało tylko 42% strumienia  $K\downarrow$  podczas krótkiego dnia dodatkowo ograniczonego przez zbocza, drzewa i zamglenia. Saldo  $Q^*$  przyjmowało wartości dodatnie tylko



Ryc. 7. Przebieg dobowy promieniowania  $K_{\downarrow}$ ,  $K_{\uparrow}$  i salda  $Q^*$  powierzchni murawy — na wierzcholinie (LCz) (po lewej) oraz w Dolinie Prądnika (PZ) (po prawej) w dniu 14.06.2009 r. (indeks l) oraz 14.12.2008 r. (indeks z). Przebieg dzienny przedstawiono na jasnym tle, natomiast przebieg nocny na ciemnym tle. Przerywaną linią i punktem w kole zaznaczono moment górowania Słońca. W górnym prawym rogu wpisano wartość albedo ( $\alpha$ )

Fig. 7. Daily course of radiation  $K_{\downarrow}$ ,  $K_{\uparrow}$  and  $Q^*$  grass surface – in the plateau (LCz) (at left) and in the Prądnik Valley (PZ) (at right) on 14.06.2009 (index l) and on 14.12.2008 (index z). The diurnal course is presented on the bright background, and the nocturnal course on the dark background. The moment of the upper culmination of the Sun is marked with a broken line and a dot in a circle. In the upper right corner is the value of albedo ( $\alpha$ )



Ryc. 8. Struktura bilansu promieniowania w średnich sumach rocznych na wierzcholinie (LCz) (po lewej) oraz w Dolinie Prądnika (PZ) (po prawej) w latach 2008–2009

Fig. 8. Structure of radiation balance expressed as mean annual totals in the plateau (LCz) (at left) and in the Prądnik Valley (PZ) (at right) in the years 2008–2009



w godzinach okołopołudniowych w pozostałej części doby – ujemne; wyraźnie zaznaczało się to w przebiegu  $Q^*$  na stacji PZ. Saldo  $Q^*$  w sumie dobowej wynosiło  $0,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  na wierzchowinie oraz aż  $1,9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  na dnie Doliny Prądnika.

Zestawienie struktury składników bilansu promieniowania ilustruje zróżnicowanie dopływu energii słonecznej pomiędzy wierzchowiną a dnem wąwozu krasowego Wyżyny Krakowskiej (ryc. 8). Średnia suma roczna natężenia  $K\downarrow$  była mniejsza o  $653 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  na dnie wąwozu niż na wierzchowinie, natomiast natężenie  $K\downarrow$  było wyższe o  $21 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  ze względu na wyższe albedo wilgotnej murawy na stacji PZ. Saldo promieniowania w pełnym zakresie widma było mniejsze o  $430 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  na dnie kanionu krasowego niż analogiczne natężenie na otwartej powierzchni wierzchowiny.

Duże kontrasty radiacyjne OPN potwierdzały badania J. Wojkowskiego i Z. Caputy szerzej omówione w artykułach o rozkładzie promieniowania słonecznego zamieszczonych w tym tomie. Badania te określiły zakres rocznej sumy  $K\downarrow$  silnie zróżnicowanej dla powierzchni OPN. Dlatego ocienione dna i północne zbocza wąwozów otrzymały najmniejsze sumy  $K\downarrow$  od  $1177 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  a otwarte wierzchowiny do  $4348 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ . W podobnie dużych przedziałach wartości kształtowała się roczna suma usłonecznienia możliwego, która wynosiła od 1181 do 4377 godzin i średnio 4045 godzin dla obszaru OPN. Z przeprowadzonych analiz wynikało, że średnio o 13% więcej  $K\downarrow$  docierało do wierzchowin i wysoko położonych stoków i zboczy o ekspozycji południowej, południowo-wschodniej oraz południowo-zachodniej niż wynosiła średnia obszarowa. Najmniej  $K\downarrow$  (średnio o 73% mniej niż wynosiła średnia obszarowa) otrzymały natomiast obszary nisko położone, z dużym zasłonięciem horyzontu oraz miejsca o ekspozycji północnej, północno-zachodniej i północno-wschodniej.

## KONTRASTY MIKROKLIMATYCZNE

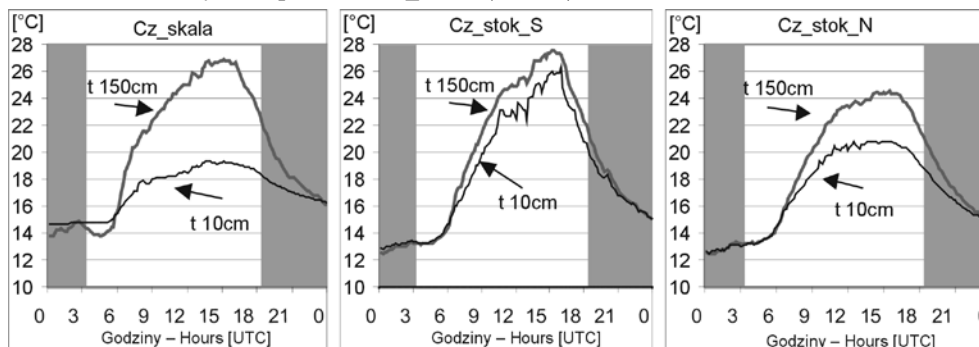
### Zróżnicowanie mikroklimatyczne kompleksu skalnego Czyżówki

Strome, silnie wyniesione ponad dno wąwozu krasowego zbocza i skały kompleksu Czyżówki charakteryzowały się silnymi kontrastami radiacyjnymi, termicznymi, itp. Ze względu na porośnięte lasem zbocza i partie grzbietowe tylko częściowo promieniowanie bezpośrednie docierało do poszycia i powierzchni kompleksu. Mimo tego ograniczenia powietrze na stoku S nagrzewało się do  $27,6^\circ\text{C}$  na wys. 150 cm w dniu 11.07.2008 r. W tym samym czasie temperatura na stoku N wynosiła  $24,4^\circ\text{C}$  (ryc. 9). Zaznaczały się niższe wartości temperatury mierzonej w poszyciu na zboczach i w cieniu drzew rosnących na grzbiecie Czyżówek gdzie notowano tylko  $19,4^\circ\text{C}$  i była to wartość niższa o  $7,0^\circ\text{C}$  od maksymalnej na stoku S. Porównując przebiegi temperatury w różnych lokalizacjach kompleksu Czyżówki zaznaczały się kontrasty termiczne pomiędzy Cz\_stok\_S i Cz\_stok\_N (ryc. 10). Interesująca była sytuacja nocą, gdy zmalała prędkość wiatru, powietrze wychłodziło się i nastąpił jego spływ na dno wąwozu. Minimalna temperatura wyniosła  $11,8^\circ\text{C}$  na stacji Park Zamkowy, nieznacznie wyższa na stokach ( $12,5^\circ\text{C}$ ) i aż o  $2^\circ\text{C}$  na grzbiecie Czyżówek.

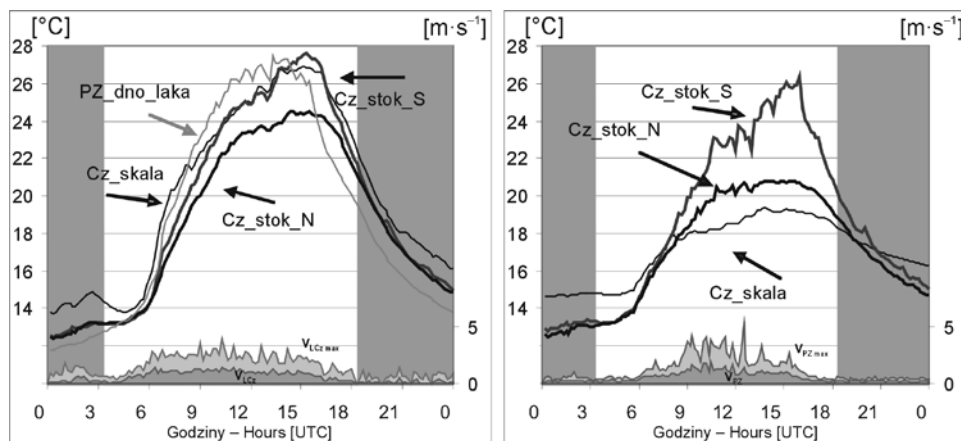
W czasie zimowego dnia, gdy drzewa były pozbawione liści a promieniowanie docierało do powierzchni obserwowano wzrost temperatury na zboczu S. Podobne wartości rejestrowano w cieniu na stoku N i grzbiecie Czyżówek w dniu 16.02.2008 r. (ryc. 11). Szczególnie duże różnice notowano przy powierzchni w ciągu dnia gdzie Cz\_stok\_S osiągnęła  $2,4^\circ\text{C}$  i było to o  $7,2^\circ\text{C}$  więcej niż na tej samej wysokości na stoku N i aż o  $7,7^\circ\text{C}$  więcej

niż na skale Czyżówki. Wyraźnie zaznaczał się wpływ prędkości wiatru na temperaturę (ryc. 12). Zjawisko przyziemnej inwersji temperatury miało miejsce nocą, a najniższą temperaturę zanotowano na obu zboczach 13,3°C i była ona wyższa o 0,5°C niż na dnie wąwozu krasowego.

Kontrasty mikroklimatyczne najwyraźniej zaznaczały się w czasie pogodnych dni, nawet zimą w czasie mroźnych dni temperatura osiągała dodatnie wartości na stoku południowym (ryc. 13). Najmroźniejszy był stok N z minimalną temperaturą  $-10,1^{\circ}\text{C}$ , również tam występowało najintensywniej zjawisko przyziemnej inwersji temperatury osiągając natężenie 1,3K. Było to związane z małą prędkością wiatru na dnie wąskiego kanionu krasowego (ryc. 14). Największe amplitudy obliczono na stoku S ( $10,8^{\circ}\text{C}$ ) oraz nieznacznie mniejsze w punkcie Cz\_skala ( $10,5^{\circ}\text{C}$ ).



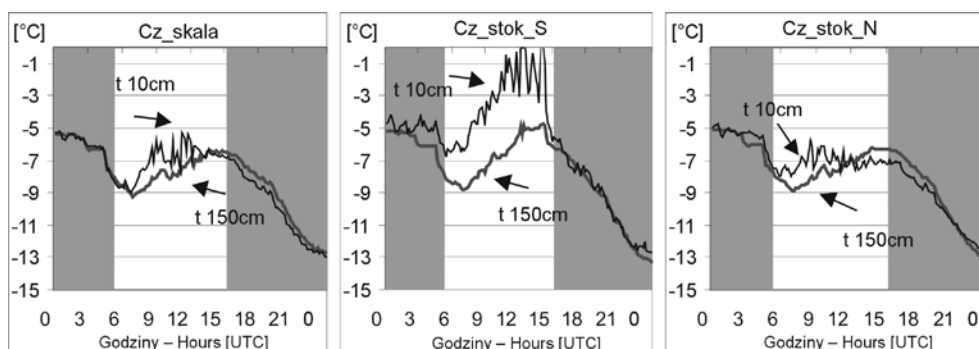
Ryc. 9. Temperatura powietrza w różnych lokalizacjach w kompleksie skalnym Czyżówki w dniu 11.07.2008 r.  
Fig. 9. Air temperature at different locations in the rock complex of Czyżówki on 11.07.2008



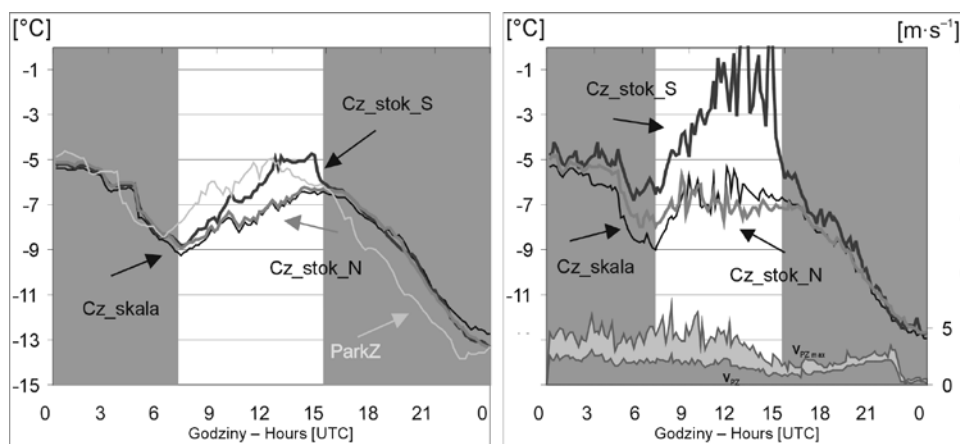
Ryc. 10. Przebieg dobowy temperatury powietrza na wysokości 150 cm (po lewej) i 10 cm w poszyciu (po prawej) w różnych lokalizacjach w kompleksie skalnym Czyżówki oraz prędkości wiatru na stacji LCz i PZ (na dole) w dniu 11.07.2008 r.

Fig. 10. Daily course of air temperature at 150 cm above ground (at left) and 10 cm above ground in the undergrowth (at right) at different locations in the rock complex of Czyżówki, and wind speeds at the LCz and PZ stations (at the bottom) on 11.07.2008

Najwyższą średnią roczną temperaturę  $8,5^{\circ}\text{C}$  notowano dla grzbietu Czyżówek i nieznacznie niższą na stokach S i N odpowiednio  $8,2^{\circ}\text{C}$  i  $8,0^{\circ}\text{C}$  (tab. 1). Było to związane z nagrzewaniem się powietrza przy skałach krasowych oraz ze zjawiskiem inwersji temperatury często obserwowanym w wąwozie krasowym OPN. Najmocniej nagrzewało się powietrze na zboczu S osiągając maksimum roczne  $29,3^{\circ}\text{C}$ , natomiast minimalne temperatury były takie same dla obu zboczy ( $-13,4^{\circ}\text{C}$ ). Niższe wartości rejestrowano dla poszycia. Na zboczu południowym występował podrost buka do 50 cm, a na północnym mieszańca osiągając maksymalnie ponad 1m wysokości. Występowanie roślinności było głównym powodem niższych amplitud dobowych i rocznych.

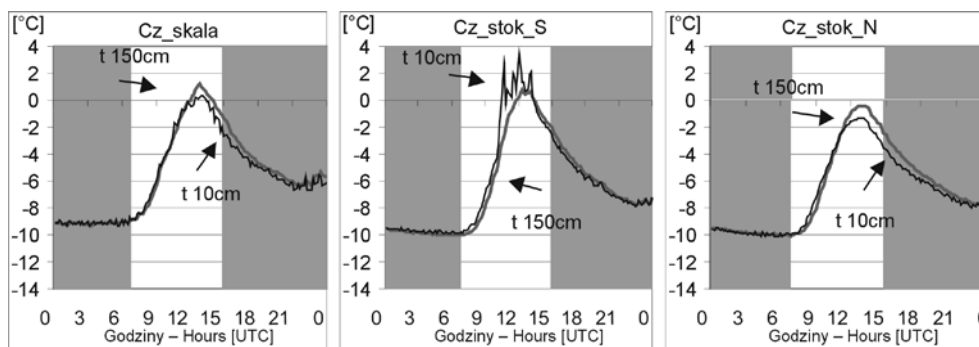


Ryc. 11. Temperatura powietrza w różnych lokalizacjach w kompleksie skalnym Czyżówki w dniu 16.02.2008 r.  
Fig. 11. Air temperature at different locations in the rock complex of Czyżówki on 16.02.2008

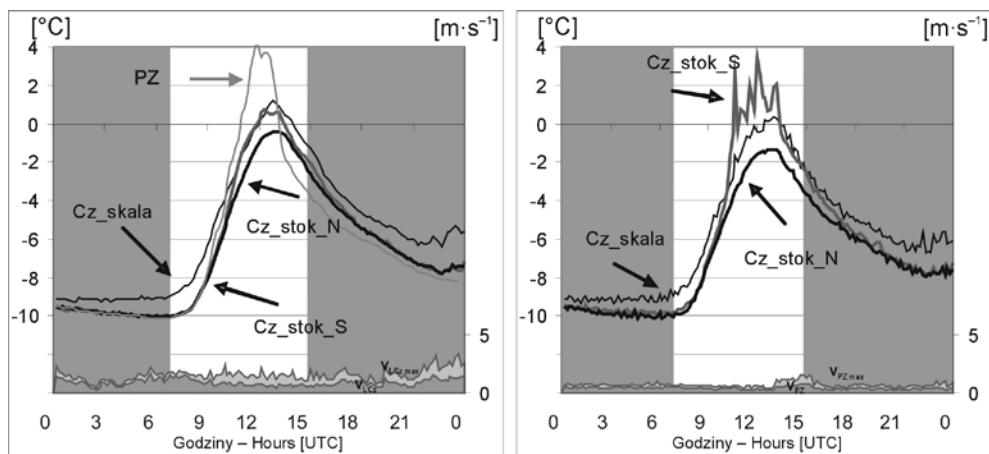


Ryc. 12. Przebieg dobowy temperatury powietrza na wysokości 150 cm (po lewej) i 10 cm w poszyciu (po prawej) w różnych lokalizacjach w kompleksie skalnym Czyżówki oraz prędkości wiatru na stacji PZ (na dole) w dniu 16.02.2008 r.

Fig. 12. Daily course of air temperature at 150 cm above ground (at left) and 10 cm above ground in the undergrowth (at right) at different locations in the rock complex of Czyżówki, and wind speeds at the PZ station (at the bottom) on 16.02.2008



Ryc. 13. Temperatura powietrza w różnych lokalizacjach w kompleksie skalnym Czyżówki w 31.12.2008 r.  
Fig. 13. Air temperature at different locations in the rock complex of Czyżówki on 31.12.2008



Ryc. 14. Temperatura powietrza na wysokości 150 cm (po lewej) i 10 cm (po prawej) na kompleksie skalnym Czyżówki oraz prędkości wiatru na stacji LCz i PZ (na dole) w dniu 31.12.2008 r.

Fig. 14. Air temperature at 150 cm above ground (at left) and 10 cm above ground (at right) in the rock complex of Czyżówki, and wind speeds at the LCz and PZ stations (at the bottom) on 31.12.2008

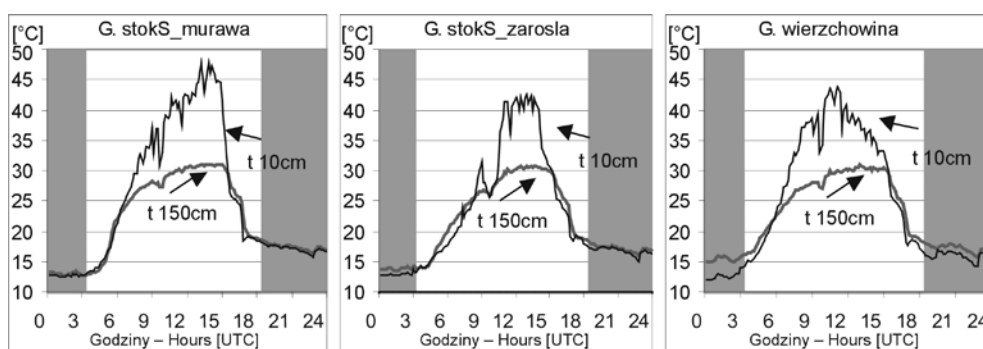
Tabela 1. Podstawowe wartości statystyczne temperatury kompleksu skalnego Czyżówki w 2008 r.

Table 1. Basic statistical values of temperature of the rock complex of Czyżówki in 2008

Lokalizacja/Temperatura Localization/Temperature [°C]		Średnia Mean	Odchylenie std. Standard dev.	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górny kwartyl
150 cm	Cz skala	8,5	7,6	-12,9	28,8	2,5	14,2
	Cz_stok S	8,2	7,1	-13,4	29,3	2,3	13,9
	Cz_stok N	8,0	7,6	-13,4	26,9	2,1	13,8
10 cm	Cz skala	8,0	6,8	-12,9	27,5	2,2	13,6
	Cz_stok S	7,8	7,4	-12,7	28,8	2,7	12,6
	Cz_stok N	7,5	7,0	-12,7	23,8	1,4	13,4

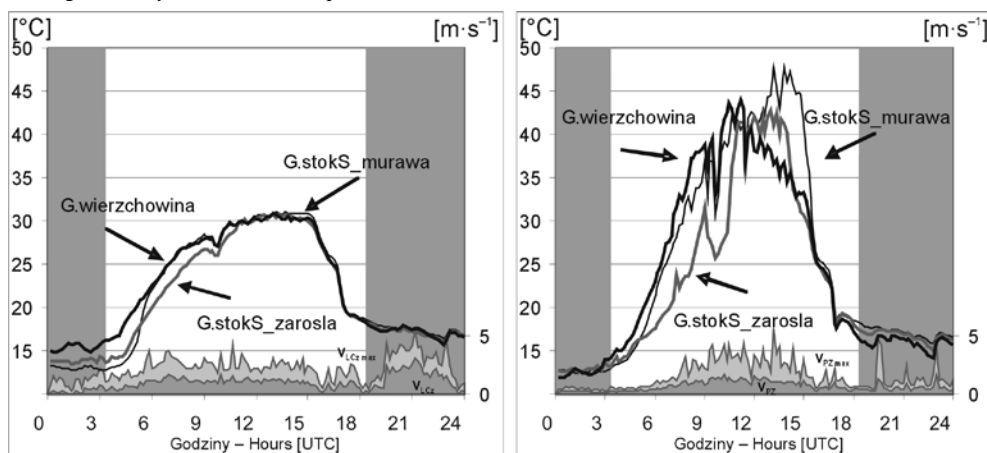
### Zróźnicowanie mikroklimatyczne Grodziska

Największe kontrasty termiczne obserwowano na odkrytych zboczach południowych porośniętych murawami kserotermicznymi (ryc. 15). Najwyższą temperaturę zanotowano na stoku S o wartości  $31,0^{\circ}\text{C}$ . Natomiast przy powierzchni murawy temperatura dochodziła do  $47,8^{\circ}\text{C}$  w dniu 12.07.2009 r. Na wierzchowinie natężenie przyziemnej inwersji temperatury wyniosło nocą 3K. W omawianym dniu niższe wartości temperatury rejestrowano na zboczu S ocienionym przez rośliny zielne i luźno rosnące drzewa w godzinach porannych (ryc. 16). W godzinach nocnym zaznaczał się też spływ zimnego powietrza w kierunku dna doliny. Dobrze nasłoneczniona wierzchowin Grodzisko szybko nagrze-



Ryc. 15. Przebieg dobowy temperatury powietrza w różnych lokalizacjach na Grodzisku w dniu 12.07.2008 r.

Fig. 15. Daily course of air temperature at different locations on the Grodzisko on 12.07.2008



Ryc. 16. Przebieg dobowy temperatury powietrza na wysokości 150 cm (po lewej) i 10 cm w poszyciu (po prawej) w różnych lokalizacjach na Grodzisku oraz prędkości wiatru na stacji LCz i PZ (na dole) w dniu 12.07.2008 r.

Fig. 16. Daily course of air temperature at 150 cm above ground (at left) and 10 cm above ground in the undergrowth (at right) at different locations on the Grodzisko, and wind speeds at the LCz and PZ stations (at the bottom) on 12.07.2008

Tabela 2. Podstawowe wartości statystyczne temperatury rejestrowanej na Grodzisku w 2008 r.

Table 2. Basic statistical values of temperature recorded on Grodzisko in 2008

Lokalizacja/Temperatura Localization/Temperature [°C]		Średnia Mean	Odchylenie std. Standard dev.	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górny kwartyl
150 cm	G. wierzchowina	8,5	8,0	-13,5	30,9	2,4	14,2
	G.stokS_murawa	8,4	8,3	-15,2	33,2	2,1	14,0
	G.stokS_zarosla	8,5	8,0	-14,4	32,5	2,4	13,9
10 cm	G. wierzchowina	8,9	9,9	-17,5	48,8	1,5	14,4
	G.stokS_murawa	9,5	10,0	-17,1	49,6	2,0	15,2
	G.stokS_zarosla	9,1	9,8	-15,0	54,1	2,0	14,5

wała się i wyróżniała się wyższymi wartościami temperatury niż stok S w dniu 12.07.2008 r. Dopiero po godzinie 8.00, gdy Słońce mocniej nagrzewało powierzchnię S, notowano wyższą temperaturę w punkcie G\_stokS na wysokości 150 cm. Następnie w godzinach nocnych, szybko wychładzająca się powierzchnia wierzchowiny miała temperaturę niższą o 0,5°C niż stok S.

Najwyższą średnią roczną temperaturę 8,5°C stwierdzono dla stanowiska na wierzchowinie i położonego na zboczu S w zaroślach w 2008 r. (tab. 2). Nieznacznie niższą średnią wyznaczono dla zbocza S na powierzchni murawy (8,4°C) jednak punkt ten charakteryzował się większymi amplitudami dobowymi i roczną. Jeszcze wyższe wartości notowano przy powierzchni murawy. Było to związane z silnym nasłonecznieniem powierzchni oraz mniejszym przepływem powietrza ze względu na zarośla i wolno rosnące drzewa na zboczu S, co mogło być powodem wysokiej temperatury osiągającej 54,1°C.

#### Zróżnicowanie mikroklimatyczne powierzchni leśnych Doliny Sąpowskiej

Duże kontrasty termiczne obserwowano w Dolinie Sąpowskiej w okresie chłodnym gdy drzewa były pozbawione liści (ryc. 17). Najcieplejszy był stok S z maksymalną temperaturą 1,5°C, nieznacznie chłodniejszy stok N i mroźne dno wąwozu krasowego z maksymalną temperaturą -3,9°C w dniu 31.12.2008 r. Jeszcze większe kontrasty termiczne notowano w poszyciu leśnym o dużej amplitudzie dochodzącej do 10,5°C w punkcie pomiarowym na południowym stoku (ryc. 18). Mroźne powietrze zalegało na dnie przez cały dzień ze średnią temperaturą -7,4°C na wysokości 150 cm.

#### Zróżnicowanie mikroklimatyczne powierzchni nieleśnych Doliny Sąpowskiej

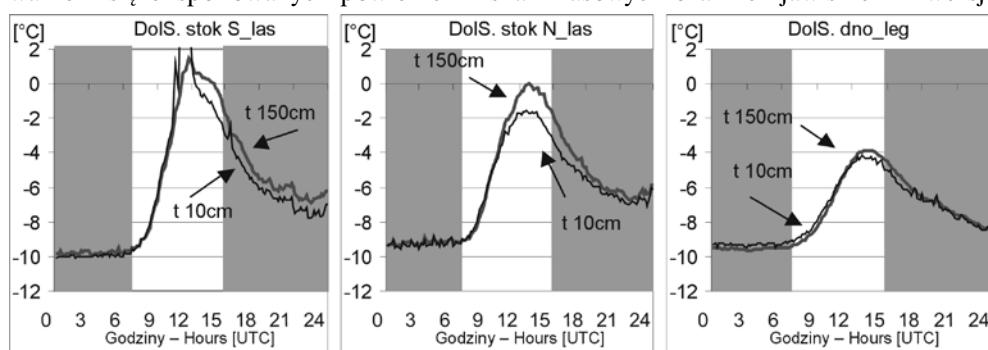
Najniższą temperaturę -22,4°C zarejestrowano na łące na dnie Doliny Sąpowskiej w pogodną noc 6.01.2009 r. (ryc. 19). W pozostałych punktach pomiarowych notowano nieznacznie wyższą temperaturę co świadczy o utrzymywaniu się inwersji temperatury przez całą noc. Promieniowanie słoneczne tylko przez parę godzin docierało do wąskiego kanionu krasowego i nieznacznie modyfikowało temperaturę w godzinach okołopołudniowych, najmocniej ogrzewało skałę na stoku południowym. Wilgotność względna malała przez cały dzień i najniższą wartość zmierzono na dnie 84,6%.

Najwyraźniej kontrasty termiczne obserwowano w dogodne dni wiosny i lata. Najwyższą temperaturę 27,5°C notowano na eksponowanej skale wapiennej porośniętej murawą kserotermiczną w dniu 26.05.2009 r. (ryc. 20). Nieznacznie niższą o 3°C, maksymalną

temperaturę stwierdzono na płaskiej powierzchni łąki kośnej. Najchłodniejsza w ciągu dnia była ocieniona przez zbocze i częściowo przez drzewa skała na stoku północnym (22,8°C). Wieczorem i nocą dno wąwozu szybko się wychładzało, dodatkowo następował spływ chłodnego powietrza z wyżej położonych terenów Doliny Sąspowskiej. Temperatura na obu badanych skałach była podobna nocą (6,4°C) natomiast na dzień osiągała 5,5°C.

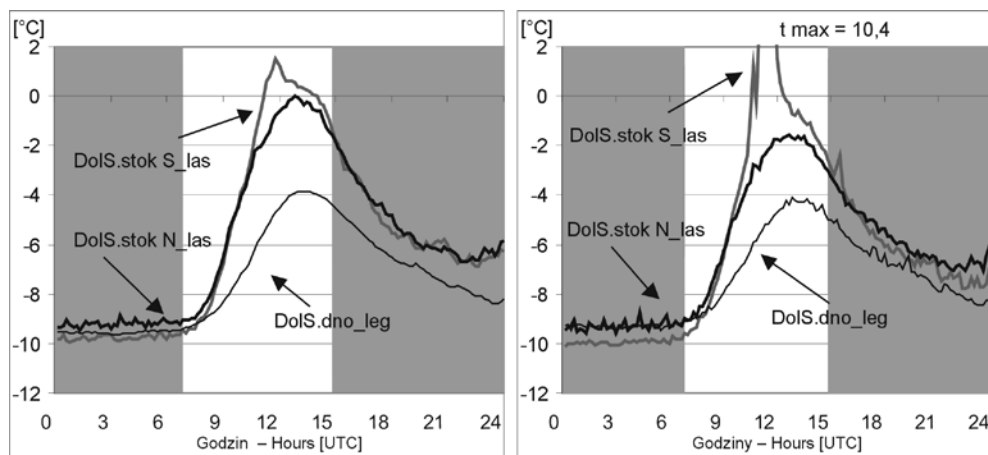
Powierzchnia murawy kserotermicznej na stoku S silnie się nagrzewała w ciągu dnia. Natomiast powierzchnia skały N była chłodniejsza poza wyjątkiem o godz. 8.00 gdy to Słońce przez chwilę oświetliło punkt pomiarowy zwiększając temperaturę o 4°C. Największe amplitudy dobowe obliczono tuż nad powierzchnią skał N i S odpowiednio 17,7°C oraz 21,7°C.

Najwyższą średnią roczną temperaturę obliczono dla stoku południowego Doliny Sąspowskiej (8,2°C) i nieznacznie niższą dla stoku N (tab. 3). Było to związane z nagrzewaniem się eksponowanych powierzchni skał krasowych oraz ze zjawiskiem inwersji



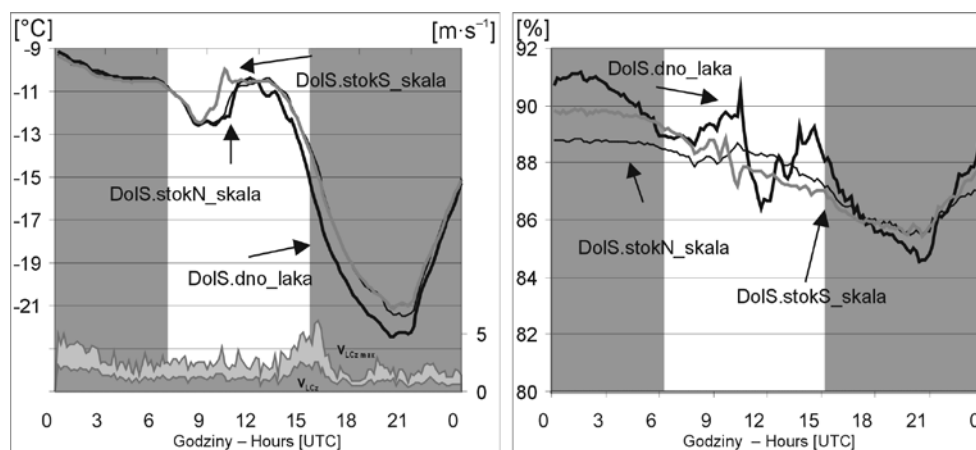
Ryc. 17. Temperatura powietrza w różnych lokalizacjach w Dolinie Sąspowskiej w dniu 31.12.2008 r.

Fig. 17. Daily course of air temperature at different locations in the Saspowska Valley on 31.12.2008



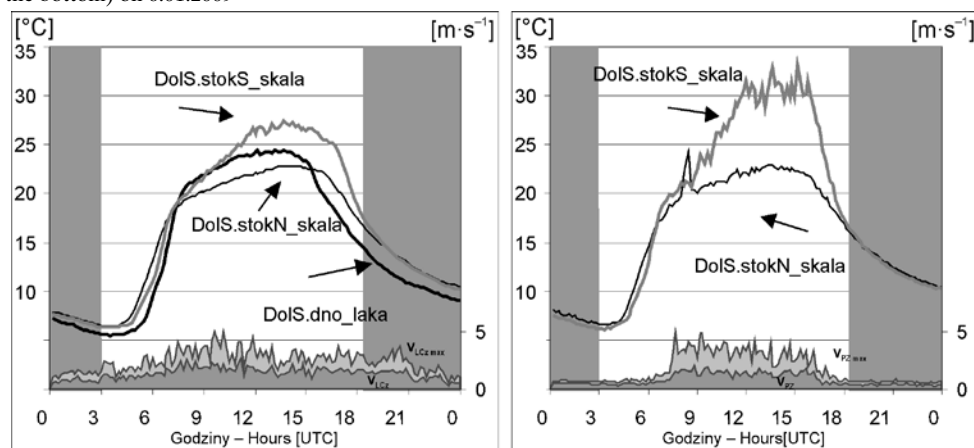
Ryc. 18. Przebieg dobowy temperatury powietrza na wysokości 150 cm (po lewej) i 10 cm w poszyciu (po prawej) w różnych lokalizacjach w Dolinie Sąspowskiej w dniu 31.12.2008 r.

Fig. 18. Daily course of air temperature at 150 cm above ground (at left) and 10 cm above ground in the undergrowth (at right) at different locations in the Saspowska Valley, on 31.12.2008



Ryc. 19. Przebieg dobowy temperatury powietrza (po lewej) i wilgotności względnej (po prawej) na wysokości 150 cm w różnych lokalizacjach na powierzchniach nieleśnych w Dolinie Sąpsowskiej oraz prędkości wiatru na stacji LCz (na dole) w dniu 6.01.2009 r.

Fig. 19. Daily course of air temperature (at left) and relative humidity (at right) at 150 cm above ground at different locations on non-forest surfaces in the Sąpsowska Valley, and wind speeds at the LCz station (at the bottom) on 6.01.2009



Ryc. 20. Przebieg dobowy temperatury powietrza na wysokości 150 cm (po lewej) i 10 cm w poszyciu (po prawej) w różnych lokalizacjach na powierzchniach nieosłoniętych w Dolinie Sąpsowskiej oraz prędkości wiatru na stacji LCz i PZ (na dole) w dniu 25.05.2009 r.

Fig. 20. Daily course of air temperature at 150 cm above ground (at left) and 10 cm above ground in the undergrowth (at right) at different locations on unshaded surfaces in the Sąpsowska Valley, and wind speeds at the LCz and PZ stations (at the bottom) on 25.05.2009

temperatury często obserwowanym w wąwozach i dolinach OPN. Najmocniej nagrzewała się murawa na zboczu S osiągając maksimum roczne 28,9°C, natomiast minimalną temperaturę zanotowano na skale N (-13,7°C). Niższe wartości rejestrowano dla poszycia (10 cm). Na zboczu południowym występowała niska murawa naskalna, a na stoku północnym mchy i porosty. Niska roślinność na eksponowanych skałach była głównym powodem niższych amplitud dobowych i rocznych.



Tabela 3. Podstawowe wartości statystyczne temperatury Doliny Sąspowskiej w 2008 r.

Table 3. Basic statistical values of temperature in the Sąspowska Valley in 2008

Lokalizacja/Temperatura Localization/Temperature [°C]		Średnia Mean	Odchylenie std. Standard dev.	Minimum	Maksimum	Dolny kwartyl	Górny kwartyl
150 cm	DolS.stokS_ias	8,2	7,5	-14,2	28,9	2,4	13,8
	DolS.stokN_ias	8,1	7,3	-13,7	27,2	2,2	13,7
	DolS.dno_leg	7,4	7,2	-14,3	25,9	1,3	13,1
	DolS.stokNW_Berło	7,9	7,4	-14,7	27,1	2,0	13,7
10 cm	DolS.stokS_ias	8,4	7,7	-13,9	33,7	2,2	14,2
	DolS.stokN_ias	7,0	6,6	-11,9	22,3	1,3	12,5
	DolS.dno_leg	7,2	7,0	-13,8	23,6	1,1	13,0
	DolS.stokNW_Berło	7,5	7,3	-13,6	31,3	1,3	13,3

### WYSTĘPOWANIE I INTENSYWNOŚĆ PRZYZIEMNYCH INWERSJI TERMICZNYCH

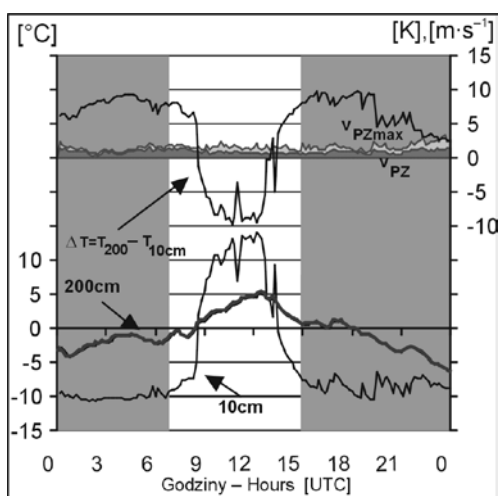
Warunki morfologiczne i związane z nimi kontrasty termiczne sprzyjały występowaniu na tym terenie inwersji termicznych. Najbardziej istotne były inwersje orograficzne tzn. zachodzące w całym profilu pionowym, od dna doliny do wierzchołki. W formach wklęsłych tworzyły się one wczesnym wieczorem, osiągając maksimum przed wschodem Słońca. Najczęściej występowały inwersje słabe, w granicach od 0,1 do 2,0K (Brzeźniak 1974). Dominowały one zwłaszcza zimą; latem i jesienią częstsze były inwersje silne, które według J. Kleina (1974) osiągały wartości w granicach 8,0–10,0K, przy różnicy wzniesień równej 100 m. W ocenie obecnych badań największa różnica temperatury wyniosła 12,1K w kanionie krasowym ( $\Delta T = T_{\text{wierzchołki}} - T_{\text{dolina}}$ ). W przebiegu rocznym największą częstością inwersji charakteryzowały się jesień, szczególnie październik, w którym częste były okresy pogody bezchmurnej lub o małym zachmurzeniu i dużym udziale cisz atmosferycznych, sprzyjające intensywnemu wychłodzeniu den dolin i wąwozów. Przybliżoną granicę inwersji termicznych w Dolinie Prądnika wyznaczały poranne mgły radiacyjne występujące do wysokości około 20–30 m. Rola cyrkulacji atmosfery i zachmurzenia w kształtowaniu inwersji termicznych w kanionach krasowych została przeanalizowana przez T. Niedźwiedzia (2009 i w tym tomie).

Analizę przyziemnych inwersji termicznych przeprowadzono dla poszczególnych punktów. Tak więc dodatnie różnice termiczne oznaczają sytuacje inwersyjne, a różnice ujemne oznaczają spadek temperatury powietrza ze wzrostem wysokości. Duże natężenie stwierdzono dla punktów zlokalizowanych w dnie wąwozów krasowych maksymalnie wynoszące 7,3K na stacji PZ ( $\Delta T = T_{200\text{ cm}} - T_{10\text{ cm}}$ ) oraz 3,7K na dnie Doliny Sąspowskiej ( $\Delta T = T_{150\text{ cm}} - T_{10\text{ cm}}$ ). Największe natężenie przyziemnej inwersji temperatury notowano na stacji LCz w dniu 31.12.2008r. (ryc. 21). Zjawisko to utrzymywało się przez całą noc oraz w godzinach porannych i wieczornych gdy małe natężenie promieniowania słonecznego nie ogrzewało powierzchni.

Dużo częściej obserwowano zjawisko inwersji temperatury w okresie zimowym, szczególnie w czasie pogodnych nocy. Pomiedzy stanowiskiem Czyżówki\_ skala wyniesionym ponad dno Doliny Prądnika a stacją PZ najwyższe natężenie inwersji notowano dla godzin nocnych sięgające 2,9K w dniu 31.12.2008 r. (ryc. 22). Jeszcze wyższe  $\Delta T$  obserwowano

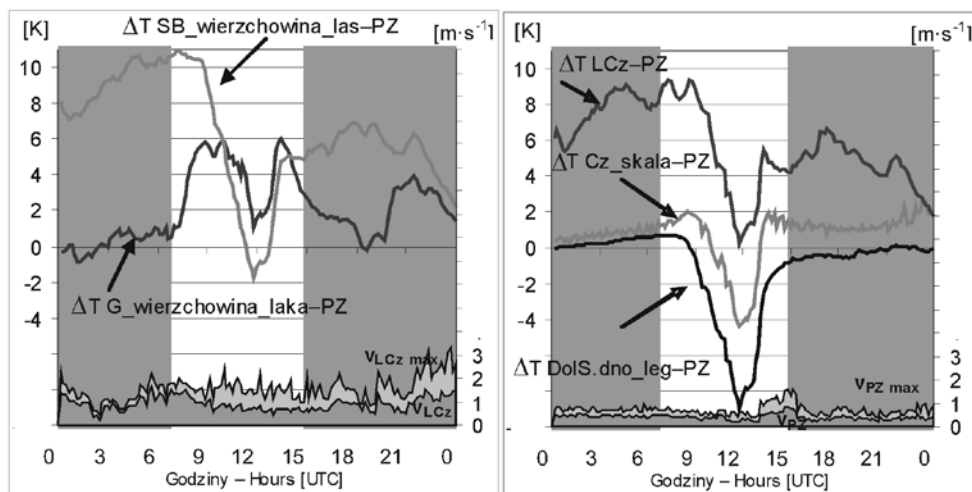
w profilu wierzchowina – dolina ( $\Delta T = T_{LCz} - T_{PZ}$ ) o wartości 9,5K. Inwersje o dużym natężeniu miały miejsce również w cieplej porze roku. Dla przykładu  $\Delta T = T_{Cz\_skala} - T_{PZ}$  dla godzin porannych osiągnęło 4,7K w dniu 2.06.2008 r. (ryc. 23). Jeszcze wyższe natężenie inwersji obserwowano w profilu LCz i PZ o wartości 7,8K.

W celu zbadania struktury natężenia inwersji temperatury dokonano podziału wartości średnich 10 minutowych na inwersje o dużym natężeniu ( $\Delta T \geq 6$ ), średnim ( $6 > \Delta T \geq 3$ ), małym ( $3 > \Delta T \geq 1$ ) i spadek temperatury wraz z wysokością wyrażone w [K]. Ze względu na to, iż zjawisko to występowało głównie w nocy podzielono wynik na porę dzienną (7.00–17.50



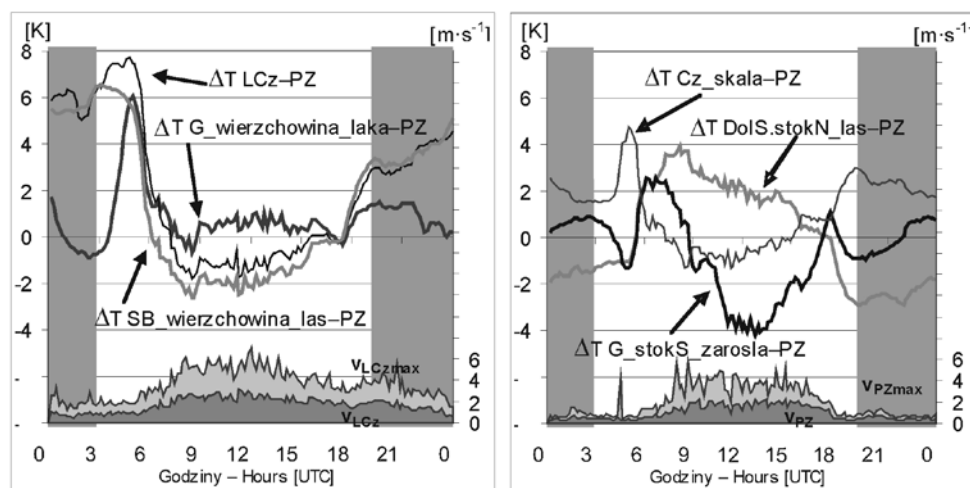
Ryc. 21. Przebieg temperatury i prędkości wiatru na stacji Lepianka Czajowska oraz natężenia inwersji temperatury  $\Delta T = T_{200\text{cm}} - T_{10\text{cm}}$  w dniu 31.12.2008 r.

Fig. 21. Daily course of temperature and wind speed at the Lepianka Czajowska station, and the intensity of temperature inversion  $\Delta T = T_{200\text{cm}} - T_{10\text{cm}}$  on 31.12.2008



Ryc. 22. Inwersja temperatury  $\Delta T$  oraz prędkość wiatru  $v$  (na dole) w dniu 31.12.2008 r.

Fig. 22. Temperature inversion intensity  $\Delta T$ , and wind speed (at the bottom) on 31.12.2008

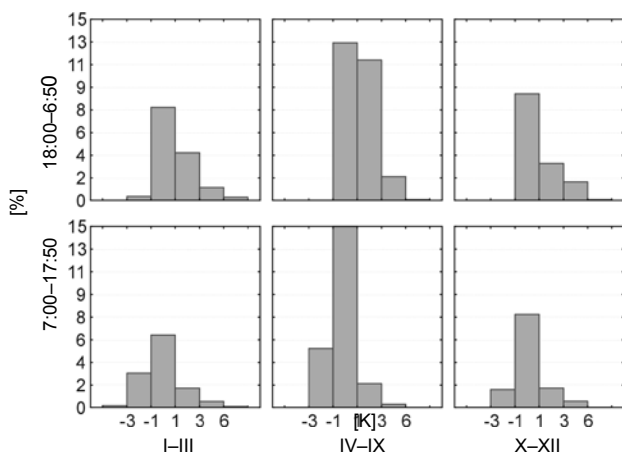
Ryc. 23. Inwersja temperatury  $\Delta T$  oraz prędkość wiatru  $v$  (na dole) w dniu 2.06.2008 r.Fig. 23. Temperature inversion intensity  $\Delta T$ , and wind speed (at the bottom) on 2.06.2008

UTC) i nocną (18.00–6.50 UTC). Dodatkowo wyróżniono okres wegetacyjny (miesiące IV–IX) ze względu na zróżnicowanie roślinności w OPN i powiązanie jej występowania z warunkami klimatycznymi. Natężenie inwersji temperatury pomiędzy grzbietową częścią kompleksu skalnego Czyżówki a PZ (58 m) sięgało w 2008 r. maksymalnie 9,6K. Częstość  $\Delta T$  o dużym natężeniu była niewielka i wynosiła 0,3% w miesiącach I–III oraz 0,1% w okresie wegetacyjnym w nocy i rzadka w porze dziennej (ryc. 24). Częściej występowała  $\Delta T$  o średnim natężeniu 2% i małym nawet 12% nocą w okresie wegetacyjnym. Mogło to być związane z przymrozkami wzmacniającymi stres dla roślin występujących w wąwozach OPN.

Badając częstość inwersji temperatury pomiędzy stacją LCz a PZ stwierdzono maksymalne natężenie 11,7K w 2008 r. Natomiast częstość przyziemnej inwersji temperatury  $\Delta T_{PZ} = T_{200\text{ cm}} - T_{10\text{ cm}}$  o dużym natężeniu występowała w ciągu całego roku (ryc. 25). W okresie wegetacyjnym wynosiła 2,2% nocą i 0,2% w porze dziennej. Dużo częściej notowano średnie wartości  $\Delta T$  nawet 3,7% w miesiącach IV–IX nocą i 0,8% w ciągu dnia. Duże znaczenie miały małe  $\Delta T$  dla kontrastów mikroklimatycznych w ciągu całego roku.

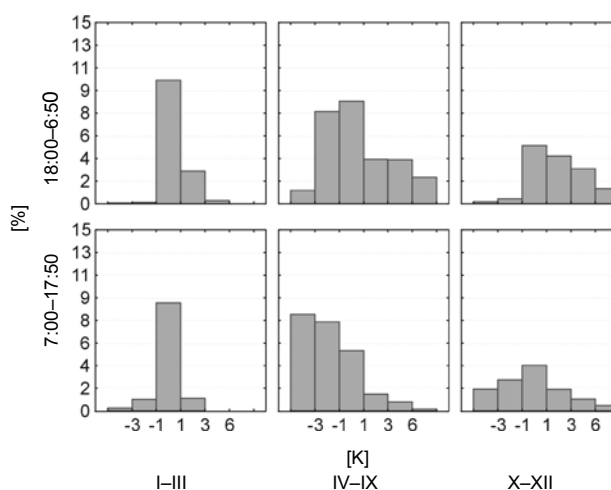
## ZRÓŻNICOWANIE MEZOKLIMATYCZNE

Analizę kontrastów klimatycznych pomiędzy wierzchowiną a dnem wąwozów i dolin OPN przeprowadzono na podstawie dwóch punktów na wierzchowinie: na stacji Lepianka Czajowska, 483 m (murawa, wierzchowinia), SB.wierzchowinia\_las, 477 m (skała porośnięta buczyną) oraz trzech niżej położonych: na stacji PZ, 322 m na dnie Doliny Prądnika, DolS.dno\_leg, 330 m punkt reprezentował dolną część Doliny Sąspowskiej porośniętą głównie przez zbiorowiska leśne, DolS.dno\_laka na wysokości 337 m, zlokalizowany na łące rajgrasowej. Analizując warunki lokalne OPN można było zaobserwować podobne średnie sezonowe temperatury w punktach na wierzchowinie w 2008 r. (ryc. 26). Jednak



Ryc. 24. Histogram nateżenia inwersji temperatury  $\Delta T = T_{\text{Czyżówki\_skała}} - T_{\text{PZ}}$  [K] w podziale na okres dzienny (7.00–17.50 UTC) i nocny (18.00–6.50 UTC) oraz wyróżniono okres wegetacyjny (miesiące IV–IX) w 2008 r.

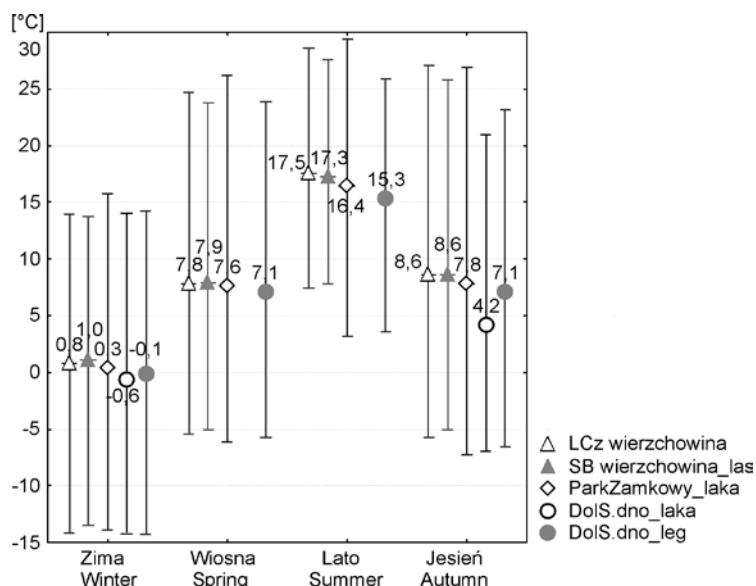
Fig. 24. Histogram of the intensity of temperature inversion  $\Delta T = T_{\text{Czyżówki\_skała}} - T_{\text{PZ}}$  [K] divided into diurnal (7.00–17.50 UTC) and nocturnal (18.00–6.50 UTC) periods and with the marked vegetation season (months IV–IX) in 2008



Ryc. 25. Histogram nateżenia inwersji temperatury powietrza  $\Delta T_{\text{PZ}} = T_{200} - T_{10\text{cm}}$  [K] w podziale na okres dzienny (7.00–17.50 UTC) i nocny (18.00–6.50 UTC) oraz wyróżniono okres wegetacyjny (miesiące IV–IX) w 2008 r.

Fig. 25. Histogram of the intensity of air temperature inversion  $\Delta T_{\text{PZ}} = T_{200} - T_{10\text{cm}}$  [K] divided into diurnal (7.00–17.50 UTC) and nocturnal (18.00–6.50 UTC) periods and with the marked vegetation season (months IV–IX) in 2008

otwarty teren w punkcie pomiarowym LCz charakteryzował się większymi kontrastami termicznymi (większa amplituda dobowa i sezonowa) niż punkt na skale w lesie. Niższe temperatury notowano w punktach na dnie Doliny Sądowskiej niż na stacji PZ. Dla przykładu średnie ujemne wartości temperatury obliczono w sezonie zimowym dla dna wąskiego kanionu krasowego tak w jego środkowej części jak w dolnej, gdy w szerszym i większym dnie Doliny Prądnika stwierdzono dodatnią średnią temperaturę w tym samym sezonie. Podobną sytuację (chłodniejszego dna Doliny Sądowskiej) obserwowano w pozostałych sezonach. Było to związane z zasłonięciem horyzontu, zmiennym nasłonecznieniem wąwozów o różnej orientacji N–S i W–E i zjawiskiem inwersji temperatury. Największe różnice termiczne rejestrowano przy powierzchni gruntu (tab. 4). Wysoka średnia wartość temperatury 11,7°C przy powierzchni murawy na stacji PZ mogła być związana z silnym nagrzewaniem się powierzchni latem oraz izolacyjnym działaniem dłużej zalegającej pokrywy śnieżnej na dnie zimą.



Ryc. 26. Rozkład temperatury w punktach pomiarowych OPN w 2008 r.

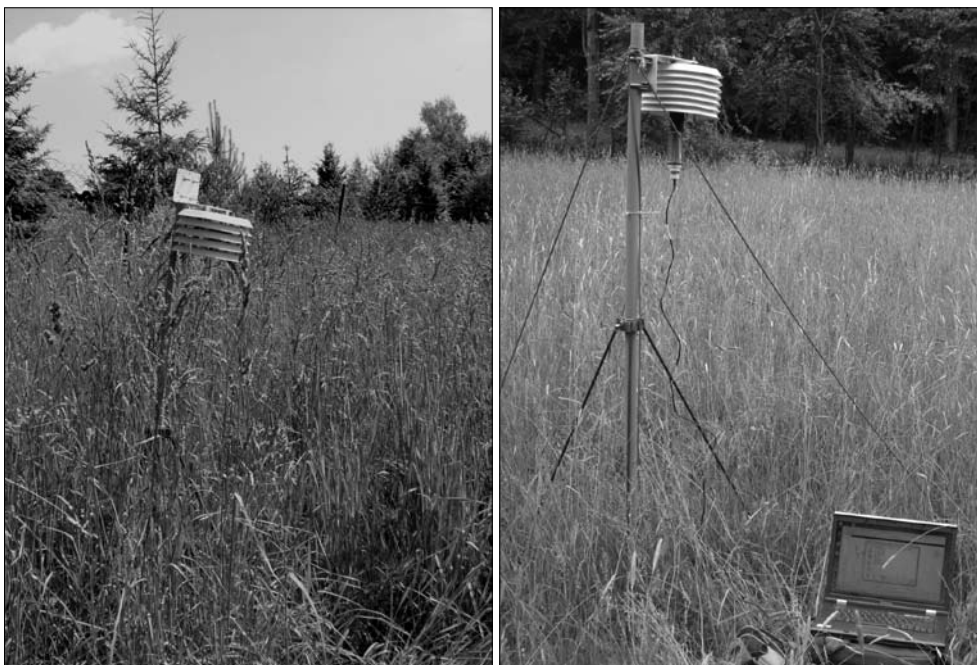
Fig. 26. Temperature distribution at measurement points in the ONP in 2008

Silne urzeźbienie terenu, urozmaicenie form, ekspozycji i spadków, a także znaczne deniwelacje sprawiały, że na stosunkowo małej przestrzeni występowało duże zróżnicowanie warunków radiacyjnych. Różnice w dopływie strumienia  $K_{\downarrow}$  powodowały kształtowanie się różnorodnych topoklimatów, co w krajobrazie parku zaznaczało się dużą mozaiką zespołów roślinnych. Zróżnicowanie warunków radiacyjnych, termicznych wilgotnościowych, anemologicznych i innych było związane ze zróżnicowaniem morfologicznym OPN. Dodatkowo różnorodność warunków klimatycznych w mezoskali znajduje potwierdzenie występowaniem gatunków roślin o kontrastowych wymogach siedliskowych (Michalik, Soł-

Tabela 4. Podstawowe wartości statystyczne temperatury na stacjach na wierzchowinie i w Dolinie Prądnika w 2008 r.

Table 4. Basic statistical values of temperature at the stations in the plateau and in the Prądnik Valley in 2008

Lokalizacja/Temperatura Localization/Temperature [°C]		Średnia Mean	Odchylenie std. Standard dev.	Min	Maks Max	Dolny kwartyl	Górny kwartyl
200 cm	LCz_wierzchowina	8,7	7,8	-14,2	28,6	2,8	14,6
	SB.wierzchowina_las	8,7	7,5	-13,5	27,6	3,1	14,6
	Park Zamkowy_laka	8,0	7,7	-13,9	29,4	1,8	13,7
10 cm	LCz_wierzchowina	8,8	9,3	-16,3	48,1	1,8	14,5
	SB.wierzchowina_las	8,6	7,5	-13,5	32,2	2,7	14,7
	Park Zamkowy_laka	11,7	8,8	-8,9	46,9	4,0	17,6



Ryc. 27. Lokalizacja mikrorejestratorów na wierzcholinie (po lewej) i na dnie doliny (po prawej)

Fig. 27. Data loggers location in plateau (on left) and on bottom valley (on right)

tys-Lelek w tym tomie). Dlatego rejestratory Hobo zostały umieszczone w charakterystycznych siedliskach: wierzchołki i dno doliny (ryc. 27) oraz stoki o ekspozycji południowej w Grodzisku i północno-wschodniej w kompleksie skał Czyżówki (ryc. 28).

Na analizowanym obszarze wydzielono regiony mezoklimatyczne: 1) ciepły region wierzchołki, o średniej temperaturze roku powyżej 8°C, dużych amplitudach dobowych i rocznych, o silnych wiatrach zachodnich, zmniejszonym udziale cisz atmosferycznych oraz średniej wilgotności względnej powietrza; 2) region zróżnicowanych termicznie zboczy, w którym wyróżniono: a – subregion ciepłych zboczy o wystawie południowej i zbliżonych, porośnięty murawami lub występującymi skałami wapiennymi, odznaczający się wyższą temperaturą w porównaniu z dnami wąwozów i obszarami leśnymi, niższą wilgotnością względną; b – subregion chłodniejszych zboczy porośniętych lasami, o niekorzystnych warunkach radiacyjnych, niższej temperaturze niż wierzchołki i zbocza nieleśne, a wyższą niż dna wąwozów, wysokiej wilgotności względnej powietrza; 3) region zimnych den wąwozów o najniższej średniej temperaturze roku, najwyższej maksymalnej i najniższej minimalnej, co świadczy o surowości klimatu w tych formach terenowych, o częstych inwersjach termicznych, mgłach i zamgleniach, zastoiskach chłodnego powietrza, o słabych prędkościach wiatru nawiązujących do przebiegu wąwozów i dolin oraz częstych ciszach.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr N306 044 32/3178.



Ryc. 28. Lokalizacja mikrorejestratorów na stoku o ekspozycji S na Grodzisku (po lewej) i NE w kompleksie skał Czyżówki (po prawej)

Fig. 28. Data loggers location in slop S (on left) at Grodzisko and slop NE (on right) at Czyżówki

## PIŚMIENNICTWO

Brzeźniak E. 1974. *Ogólna charakterystyka warunków klimatycznych w okolicy Ojcowskiego Parku Narodowego* [w:] K. Zabierowski (red.), *Rozmieszczenie przestrzenne i struktura leśnych pasów ochronnych wokół Ojcowskiego Parku Narodowego*. Kraków, Zakład Ochrony Przyrody PAN, maszynopis, ss. 35.

Brzeźniak E., Partyka J. 2008. *Warunki klimatyczne Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] A. Klasa, J. Partyka (red.), *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego. Przyroda*. Ojców, s. 121–136.

Klein J. 1967: *Charakterystyka fitoklimatu badanych powierzchni na tle warunków mezoklimatycznych Ojcowa*. „Studia Naturae”, ser. A, **1**: 25–47.

Klein J. 1974. *Mezo- i mikroklimat Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Studia Naturae”, ser. A, **8**: 1–105.

Klein J. 1974. *Mezo- i mikroklimat Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Studia Naturae”, ser. A, **8**: 1–105.

Klein J. 1977. *Klimat*. „Studia Naturae”, ser. B. **28**: 91–119.

Klein J. Partyka J. 1991. *Rzeźba kompleksu skalnego Czyżówki w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Ochrona Przyrody”, **49**, cz. II: 3–12.

Klein, J., Niedźwiedź, T., Szytler, A. 1965. *Badania mikroklimatyczne na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Ochrona Przyrody”, **31**: 189–201.

Medwecka-Kornaś A., Kornaś J. 1963. *Mapa zbiorowisk roślinnych Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Ochrona Przyrody”, **29**: 17–87.

Michalik S. 1983. *Rozmieszczenie roślin kserotermicznych i górskich w Ojcowskim Parku Narodowym w zależności od warunków mikroklimatu*. „Studia Naturae”, ser. A, **24**: 1–74

Michalik S. 1990. *Przemiany roślinności kserotermicznej w czasie 20-letniej sukcesji wtórnej na powierzchni badawczej „Grodzisko” w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **2**: 43–52.

Michalik S. 1996. *Operat Zbiorowisk (Ekosystemów) Nieleśnych Ojcowskiego Parku Narodowego* (mscr.). Instytut Ochrony Przyrody PAN. Kraków.

Michalik S. 2003. *Charakterystyka fitosocjologiczna stałych powierzchni badawczych: „Chełmowa Góra”, „Czyżówki” i „Grodzisko” w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **14**: 1–64.

Niedźwiedź T. 2009. *Temperature inversions in the karst canyon of the Ojców National Park (Southern Poland), Stara Lesna, October 2009, 2 pages*. [w:] A. Pribulova, S. Bicarova (red.), *Sustainable Development and Bioclimate – Reviewed Conference Proceedings*, issued by: Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Sciences. Stara Lesna, s. 46–47.

Partyka J. 2005. *Zmiany w użytkowaniu ziemi na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego w ciągu XIX i XX wieku*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **15**: 7–138.

Sołtys A., Barabasz-Krasny B. 2006. *Przemiany roślinności kserotermicznej na powierzchni badawczej „Grodzisko” w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **16**: 89–118.

Wojkowski J. 2004. *Zróźnicowanie topoklimatyczne w charakterystycznych typach środowiska OPN*, [w:] J. Partyka (red.), *Zróźnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, t. 1 – Przyroda. Ojców, s.139–142.

## SUMMARY

The paper presents the results of investigations of the local climate of the Ojców National Park conducted in the years 2007–2009. The values of climatic contrasts between karstic canyons and the plateau, between southern and northern slopes, and in relation to the plant cover including forest were determined based on field measurements (temperature, humidity, wind speed and direction, precipitation, and net radiation) performed at the representative places in the ONP. Highly diverse landforms, and a variety of aspects and slope gradients caused big differences in solar energy input. This variation affected the course of radiation fluxes within the typical of ONP landforms – the plateau and the karstic canyon floor (Fig. 7).

The analysis of microclimatic variation of the rock complex of Czyżówki, the Sąpowska Valley, and the slope of Grodzisko was made. The biggest thermal contrasts were observed on xerothermic grass-grown open southern slopes (Fig. 15). The structure and intensity of ground-level thermal inversions was presented and the mesoclimatic variation in the ONP was discussed.